

R407C 在水平单管外凝结换热的实验研究

成昌锐 王秋旺 刘 星 陶文铨

(西安交通大学能源与动力工程学院, 陕西 西安 710049)

摘 要 本文用实验方法研究了 R407C 在水平单管外的凝结换热, 并与 HCFC22 做了对比。试验管包括一根光管和两根双侧强化管。结果表明, R407C 在水平管 (包括光管和强化管) 外的冷凝换热系数随着热流密度的增加而显著增加, 而且, 强化管增长的程度要比光管的强烈。在相同的冷凝温度与热流密度范围内, 无论对于光管还是强化管, R407C 的管外冷凝换热系数都远小于 HCFC22 的值。对于所试验的两种强化管, HCFC22 的管外冷凝换热系数的强化效果比 R407C 更明显。

关键词 凝结换热; 非共沸工质; 光管及强化管

中图分类号: TK124 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-231X(2001)Suppl.-0050-03

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON CONDENSATION HEAT TRANSFER OF R407C OUTSIDE SINGLE HORIZONTAL TUBES

CHENG Chang-Rui WANG Qiu-Wang LIU Xing TAO Wen-Quan

(School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract The condensation heat transfer coefficients of R407C outside single horizontal tubes (plain tube and two kinds of enhanced tubes) were measured and compared with that of HCFC22 at the same range of condensation temperature and heat flux. It is found that the heat transfer coefficients of R407C outside plain and enhanced tubes are appreciably less than the counterpart of HCFC22, and they increase with the increase of heat flux. For HCFC22, the enhancement of condensation heat transfer outside two kinds of enhanced tubes versus the plain tube is larger than that for R407C.

Key words condensation heat transfer; zeotrope refrigerants; single horizontal plain and enhanced tubes

1 引 言

HCFC22 是一种应用极为广泛的制冷剂, 但对臭氧层有破坏作用, 将于 2030 年被彻底禁止使用。现在, 一种三元混合物 R407C 被认为是最有希望替代它的工质之一^[1]。其物性与 HCFC22 非常接近。用 HCFC22 的制冷设备, 不作很大改动而改用 R407C 后, 其 COP 和制冷(热)能力的变化一般不超过 8%。由于 R407C 是非共沸工质, 其相变换热规律还不完全清楚, 因此, 需要从试验角度来获得有关其换热的规律。遗憾的是, 文献中这方面研究很少。本文对 HCFC22 和 R407C 在水平单管外冷凝的

凝结换热做了对比试验。对于一根光管和两根双侧强化管 (低肋管, 分别称为 F2 管和 M 管), 分别在五个冷凝温度 (32°C, 35°C, 37°C, 38°C, 40°C) 下, 测定了 R407C 和 HCFC22 的传热系数, 并对管内外热阻进行了分离, 得出了相应的管外凝结换热系数。

2 试验系统

试验系统如图 1 所示, 主要由两部分组成: 氟里昂循环系统和冷却水循环系统。氟里昂液体在蒸发器内被电加热器加热而沸腾。饱和蒸气从蒸发器上升, 进入冷凝器内, 在水平管外表面被冷却水冷凝成液体。冷凝液汇流后经冷凝量筒流回至蒸发器

收稿日期: 2001-03-02; 修订日期: 2001-05-18

基金项目: 西安交通大学博士研究基金资助项目 (No. DFXJU 1999-9)

作者简介: 成昌锐 (1975-), 男, 山东日照人, 硕士研究生, 主要从事计算传热与传热强化的研究。

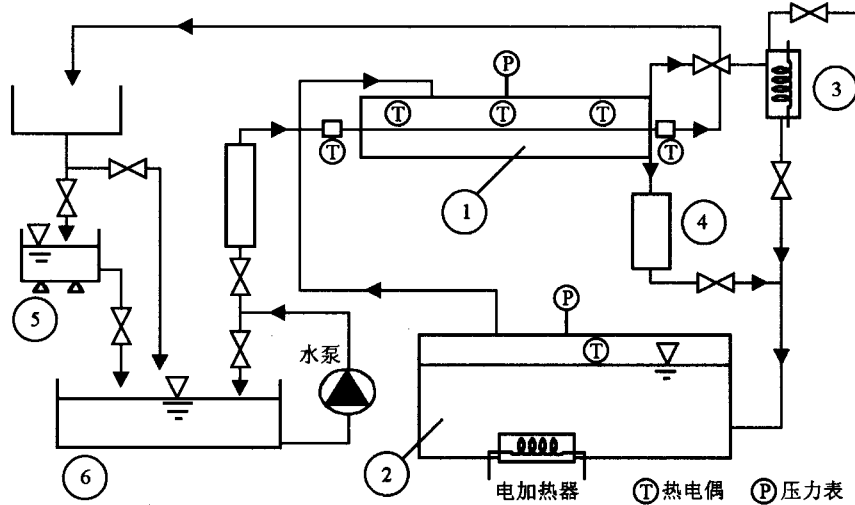


图 1 试验系统示意图

1 冷凝器 2 蒸发器 3 辅助冷凝器 4 凝液量筒 5 称重水箱 6 蓄水箱

内。冷却水在水泵的作用下，由大水箱流经流量计进入试验管段，然后，经出口水箱，再流回至大水箱，完成一个循环。当测量冷却水流量时，冷却水由出口水箱直接流至称重水箱，再流回至大水箱。

3 试验数据处理

本试验主要目的是得出传热系数 k 和管外冷凝换热系数 h_o 。 k 由下式得出：

$$k = Q / (A_o \Delta t_m) \quad (1)$$

其中 $A_o = \pi d_o L$ ； Δt_m 为对数传热温差。冷凝温度、冷却水的进出口温度由热电偶直接测出。对于本试验用的双侧强化管来说，文献中还没有可以用来计算管内强化表面的对流换热系数的实验关联式。我们采用了 Wilson 热阻分离法来处理数据 [2]。

4 试验结果及讨论

为了比较 HCFC22 和 R407C 的冷凝换热，做了 HCFC22 和 R407C 对于光管、F2 管和 M 管的管外冷凝换热系数的比较。试验结果见图 2~4。

4.1 热流密度对 R407C 在光管及强化管外凝结核热性能的影响

由图可见，R407C 在光管和两种双侧强化管外的冷凝换热系数随着热流密度的增加而增加。在所试验的范围内，四个冷凝温度下的实验结果均可表示成 $h_o = cq^n$ 的形式，其中对于光管， $c = 44.32$ ， $n = 0.351$ ；对于 F2 管及 M 管， c 值分别为 1.323 与

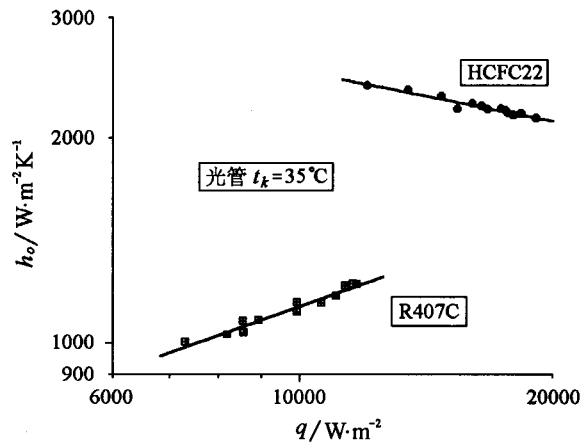


图 2 光管管外冷凝对流换热系数的比较

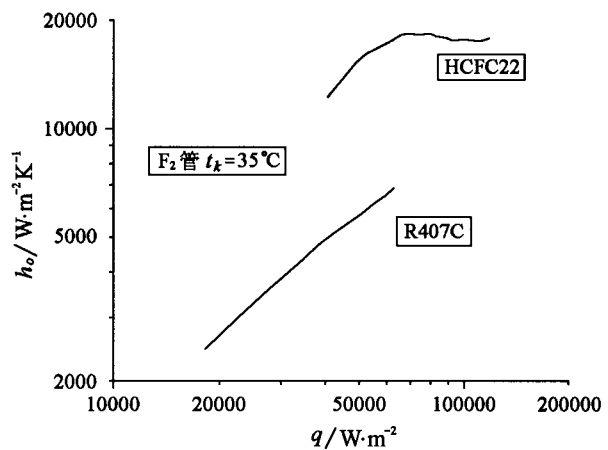


图 3 F2 管外冷凝换热系数的比较

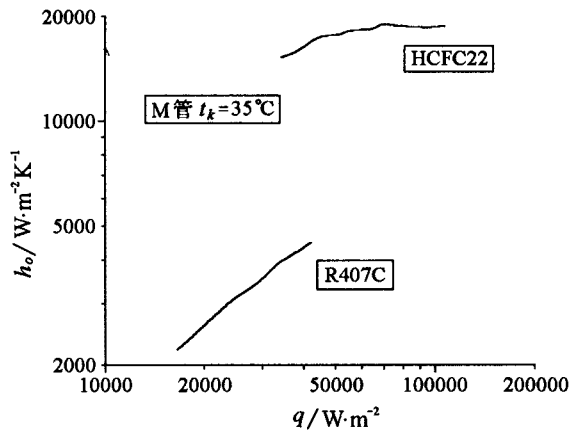


图4 M管外冷凝换热系数的比较

2.258; n 值分别为 0.774 与 0.714。可见, 随着热流密度的增加, 强化管的凝结换热系数的增长程度要比光管的强烈。这一点与文献的报道是一致的^[4]。在一定的冷却水进口温度下, 冷凝温度 t_k 的上升使 q 增加。因而无论对于光管或强化管, R407C 凝结时传热系数 K 均随 t_k 的上升而上升, 呈现出与纯工质冷凝时不同的变化趋势。

4.2 R407C 与 HCFC22 在光管及强化管外换热性能的比较

在相同的冷凝温度与热流密度范围内, R407C 的管外冷凝换热系数远小于 HCFC22。对于光管, R407C 的冷凝换热系数为 HCFC22 的 0.38 ~ 0.59 倍。对于 F2 管, 这一比值为 0.27 ~ 0.46; 对于 M 管为 0.19 ~ 0.35。分析表明, 物性的差异不是原因所在, R407C 的非共沸的性质才可能是造成这个差异的主要原因^[3]。由于非共沸工质冷凝时所形成的气体扩散膜所造成的热阻降低了冷凝换热系数。气膜热阻的影响还表现在强化管外冷凝换热的难易程度上。由图可见, 对同一根强化管, 其管外冷凝换热系数与相同热流密度下光管的比值, R407C 的值比 HCFC22 的要低许多。这也与 R407C 的凝结扩散气膜有关。气膜的存在使管表面的突起无法较好地接触主流蒸气, 因而就无法很好的达到强化换热的目的。可以预测, 在同样的材料、同等冷凝状况下, R407C 的最佳翅片尺寸应该大于 HCFC22, 因为这样可以使管表面的突起不被气膜淹没, 从而使 R407C 的主流蒸气更好地接触管表面。

如何减小这个热阻成为强化 R407C 管外冷凝换热的关键。从理论上讲, 应该尽可能的破坏、干扰气膜。从试验的结果来看, 随着热流密度的增加, 管外冷凝换热系数有所提高, 这一点与纯工质的趋势正好相反。可见, 高负荷运行时 R407C 设备将有可能比 HCFC22 设备更有潜力。可以预见, 通过提高蒸气流速来强化冷凝换热, 对 R407C 的效果将对纯

工质的强化效果更明显。因为, 这样不仅拉薄了凝结液膜, 而且破坏了质扩散气膜。对于粘性较小的质扩散气膜中的气体, 蒸气流速的影响将会比对凝结液膜的影响更显著。因此, 提高蒸气流速将会更强烈地扰动和破坏质扩散气膜。而对于 R407C 来说, 凝结的主要热阻又来自于气膜热阻。可见, 在强化 R407C 的冷凝换热时, 有意地提高蒸气流速, 应该会有较好的效果。初步分析表明, R407C 凝结换热系数小的主要原因在于在凝结液膜上有一个气体扩散层的热阻。

对所试验的两种强化管, HCFC22 的管外冷凝换热系数的强化效果比 R407C 的更明显。与光管相比, HCFC22 的强化倍率为 4.27 ~ 8.38(F2 管) 及 6.10 ~ 8.84(M 管), 而 R407C 的相应值则为 2.23 ~ 5.78 及 1.97 ~ 4.38。同时, 对 HCFC22, F2 管优于 M 管, 但对 R407C, 则 M 管优于 F2 管。这说明, 强化管的最优几何结构及尺寸与工质本身有密切的关系。本研究表明, 为使 R407C 能胜任替代 HCFC22 的任务, 开展对于 R407C 相变换热强化的研究具有重要的意义。

5 结 论

本文通过对 R407C 和 HCFC22 在光管及两种强化换热管外的凝结换热实验, 可以得出如下结论:

(1) R407C 在光管和两种双侧强化管外的冷凝换热系数随着热流密度的增加而增加, 且强化管的凝结换热系数的增长的程度要比光管的强烈。R407C 凝结时传热系数 k 均随 t_k 的上升而上升, 呈现出与纯工质冷凝时不同的变化趋势。

(2) 在相同的冷凝温度与热流密度范围内, R407C 的管外冷凝换热系数远小于 HCFC22。R407C 凝结换热系数小的主要原因在于在凝结液膜上有一个气体扩散层的热阻。

(3) 对所试验的两种强化管, HCFC22 的管外冷凝换热系数的强化效果比 R407C 的更明显。强化管的最优几何结构及尺寸与工质本身有密切的关系。

参 考 文 献

- [1] Cavallini A. Working Fluids for Mechanical Refrigeration. Int. J. Refrigeration, 1996, 19(8): 485-496
- [2] 杨世铭, 陶文铨. 传热学. 第三版. 北京: 高等教育出版社, 1998. 207-212
- [3] 成昌锐. R407C 非共沸混合工质在水平单管外凝结换热的研究: [硕士论文]. 西安: 西安交通大学, 2000
- [4] Wang S P, Chato J C. Review of Recent Research on Heat Transfer with Mixtures—Part I: Condensation. ASHRAE Trans, 1995. 101(1): 1376-1386